Begleitveröffentlichung zum wissenschaftlichen Film Z 1631 der BHWK
Wiss. Film (Wien) 23, Juli 1979, 11–18
Copyright by BHWK 1979

Collembolensprung – Absprung bei Heteromurus, Lepidocyrtus, Isotoma und Hypogastrura

Erhard CHRISTIAN, 1. Zoologisches Institut der Universität Wien
Walter VÖLLENKLE, Bundesstaatliche Hauptstelle für Wissenschaftliche Kinematographie, Wien

Filminhalt

Hochfrequenzkinematographische Aufnahmen (mit zusätzlicher Kadervervielfachung) zur vergleichenden Untersuchung des Absprunges arthropleoner Collembolenarten mit unterschiedlich gebautem Sprungapparat.

Contents of the film

Jump of springtails – Take-off of Heteromurus, Lepidocyrtus, Isotoma and Hypogastrura
High-speed shots (with additional multiple printing of the frames) for a comparative study of the jumps of arthropleonic collembolan species ~~of springtails~~ with differently built jumping apparatus.

Allgemeine Vorbemerkungen

Als primär flügellose Insekten werden die Collembolen in die heterogene Gruppe der Apterygota gestellt. Ihren deutschen Namen „Springschwänze" verdanken diese kleinen, meist epi- oder endogäisch lebenden Arthropoden dem bei vielen Arten gut ausgeprägten Sprungvermögen. Anders als die Mehrzahl der springenden Hexapoden verwenden sie nicht Thorakalbeine als Absprungsapparat, sondern einen extremitätenhomologen Anhang des vierten Hinterleibssegmentes, die Furca

---

Daten zum Film Z 1631 der BHWK
Z 1631 Collembolensprung – Absprung bei Heteromurus, Lepidocyrtus, Isotoma und Hypogastrura.
16-mm-Film, stumm, schwarz-weiß, 6 Minuten.
Dieser Film ist zur Verwendung in Forschung und Universitätsunterricht bestimmt.
Institut: 1. Zoologisches Institut der Universität Wien.
Wissenschaftliche Autoren: Dr. Th. Bauer, Dr. E. Christian, Dr. W. Völlenkle.
Hergestellt durch die Bundesstaatliche Hauptstelle für Wissenschaftliche Kinematographie, Wien. Aufgenommen 1975–1977, veröffentlicht 1979. Aufnahmetechnik: Dr. W. Völlenkle, E. Pavlousek, Dipl.-Ing. W. Ziegler.

Zitierform
Bauer, Th., Christian, E., Völlenkle, W.: Collembolensprung – Absprung bei Heteromurus, Lepidocyrtus, Isotoma und Hypogastrura. Film Z 1631 der BHWK. Wien: Bundesstaatliche Hauptstelle für Wissenschaftliche Kinematographie 1979.
Begleitveröffentlichung von E. Christian und W. Völlenkle, in: Wiss. Film Nr. 23, 1979, S. 11–18.

(Springgabel). Diese ist in ein unpaares Proximalstück – das Manubrium – und in die paarigen Dentes gegliedert. Jeder Dens trägt an der distalen Spitze einen meist krallenförmigen Mucro. In der Ruhelage wird die Furca rostrad unter den Körper eingeschlagen und vom Retinaculum, einem bezahnten Anhang des dritten Abdominalsegmentes, in einer ventralen Längsfurche des Abdomens fixiert. Unmittelbar vor dem Sprung wird diese Verankerung gelöst, ehe die Springgabel nach unten-hinten gegen die Unterlage geschlagen wird. Diese Rotationsbewegung der Furca, bei der das komplizierte Gelenk zwischen Manubrium und Abdomen als mobile Drehachse fungiert, kann das Tier bis zu 30 cm weit wegkatapultieren. Da der Sprungapparat dem hinteren Körperpol genähert ist, rotieren die Collembolen während der Flugphase um die Körperquerachse [4].

Die Sprünge aller im Film gezeigten Arten sind phobische Reaktionen (Fluchtsprünge), doch sind von manchen Collembolen – besonders Bewohnern der Wasseroberfläche – auch spontane Sprünge bekannt. Zielgerichtetes Springen wurde bei einer amazonischen Lepidocyrtoides-Art beobachtet [8].

Obwohl die Anatomie der Sprungmuskulatur mehrfach untersucht wurde [2, 5, 7], sind die funktionsanatomischen Kenntnisse des Sprungapparates noch lückenhaft. Die Ansicht, daß der Sprung auf einem hydraulischen Prinzip beruhe [6], kann nach neueren Ausschaltungsversuchen nicht aufrechterhalten werden. Die Furcaextension ist das Ergebnis einer direkt wirkenden Muskelkontraktion, wobei die Springgabel Teil eines bistabilen Klickmechanismus ist: Sie kommt nur eingeklappt oder gänzlich abgespreizt in Ruhe [3, 4].

Trotz des im allgemeinen recht einheitlichen Baues der Collembolen läßt sich eine ökomorphologische Typenreihe feststellen. Bewohner der Krautschicht und der Bodenoberfläche sind meist bunt oder dunkel gefärbt und auffällig behaart oder beschuppt. Sie sind durch relativ lange Antennen und Beine sowie eine langgestreckte Furca mit spitz auslaufenden Dentes gekennzeichnet. An Bodentieren sind mit zunehmender Tiefe des Wohnbereiches geringere Pigmentierung, Reduktion der Augen, kürzere Extremitäten und eine kurze, oft unvollständig ausgebildete Springgabel festzustellen. Am Ende dieser (nicht-phylogenetischen) Reihe stehen blinde, wurmförmige, furcalose Tiere [9].

Die Auswahl des Tiermaterials für den Film erfolgte im Sinne dieser Typenreihe, indem Arten mit möglichst unterschiedlich gestalteten Springgabeln herangezogen wurden.

Den epigäischen Entomobryiden (*Heteromurus nitidus* und *Lepidocyrtus paradoxus*) wurde je ein Vertreter der Isotomiden *(Isotoma hiemalis)* und der mit einer sehr kurzen Springgabel ausgestatteten Hypogastruriden *(Hypogastrura socialis)* gegenübergestellt. Die Forschungsaufnahmen von *Sminthurus viridis* (Symphypleona, Sminthuridae) konnten aus technischen Gründen nicht für den Film verwendet werden.

Während der Sprung von Insekten aus fast allen in Frage kommenden Gruppen bereits mittels kinematographischer Methoden untersucht ist, werden hier erstmals springende Collembolen im Film gezeigt. Ein Großteil der Aufnahmen wurde im Rahmen einer vergleichenden Untersuchung der Biomechanik des Collembolensprunges angefertigt [4]. Die *Heteromurus*-Einstellungen dienten außerdem der Analyse von Angriffs- und Fluchtverhalten in einer Räuber-Beute-Beziehung (Collembolenfang visuell jagender Carabiden) [1]. Für den vorliegenden Film wurde nur ein Teil der ausgewerteten Aktionen verwendet. Weiteres Belegmaterial – auch über *Orchesella cincta, Tomocerus vulgaris* und *Sminthurus viridis* – ist in der BHWK archiviert.

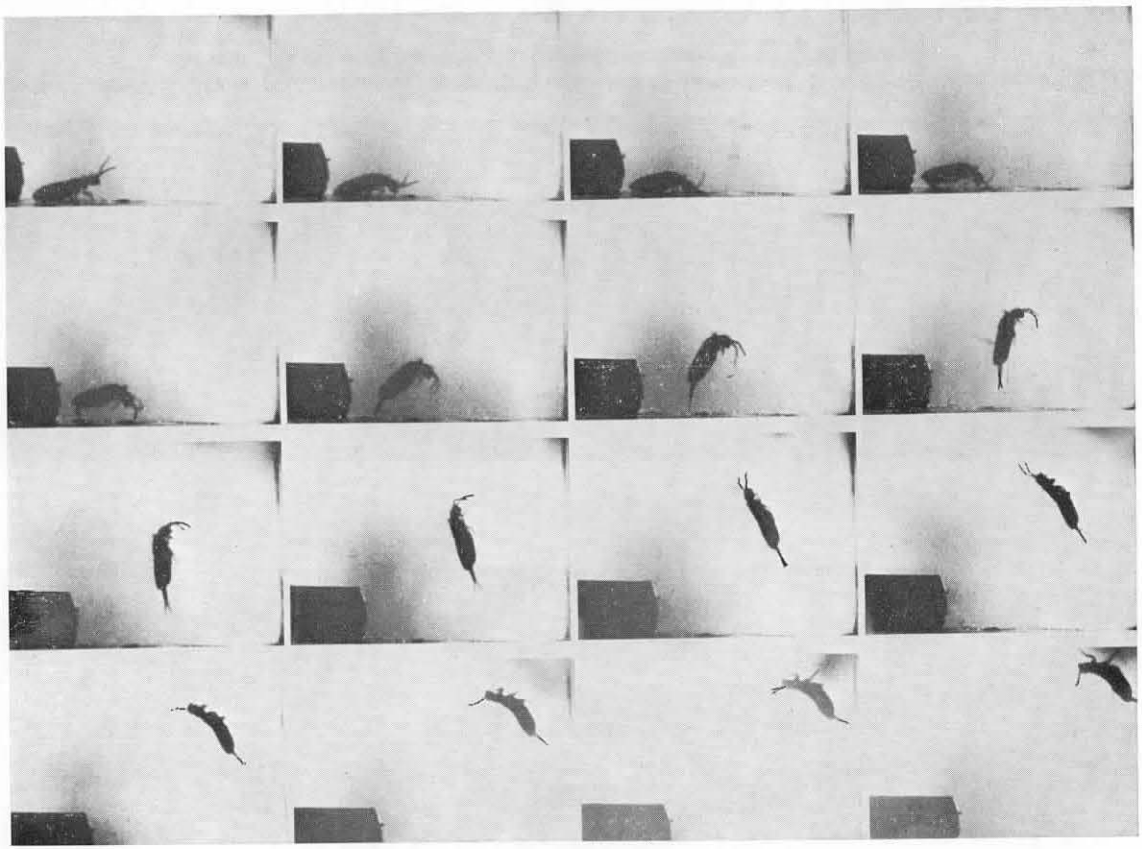

Abb. 1. *Heteromurus nitidus*, Kaderausschnittvergrößerungen. Links im Bild der mechanische Stimulator (Drahtauslöser). Aufnahmefrequenz 1200 Bs^{-1}, Körperlänge des Tieres ca. 1,9 mm. Der gezeigte Ablauf umfaßt einen Zeitabschnitt von 0,0133 Sekunden.

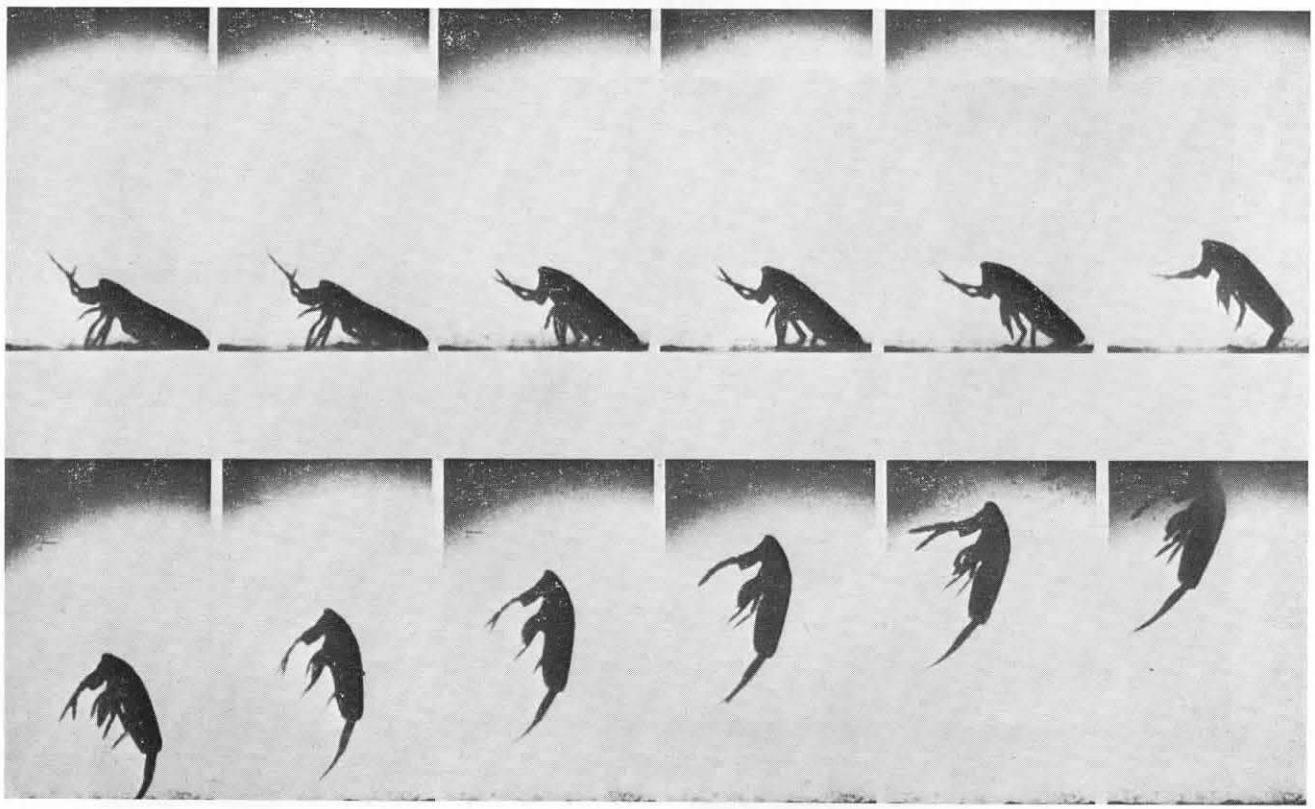

Abb. 2. *Lepidocyrtus paradoxus*, Kaderausschnittvergrößerungen. Aufnahmefrequenz 1500 Bs^{-1}, Körperlänge des Tieres ca. 2,4 mm. Der gezeigte Ablauf umfaßt einen Zeitabschnitt von 0,008 Sekunden.

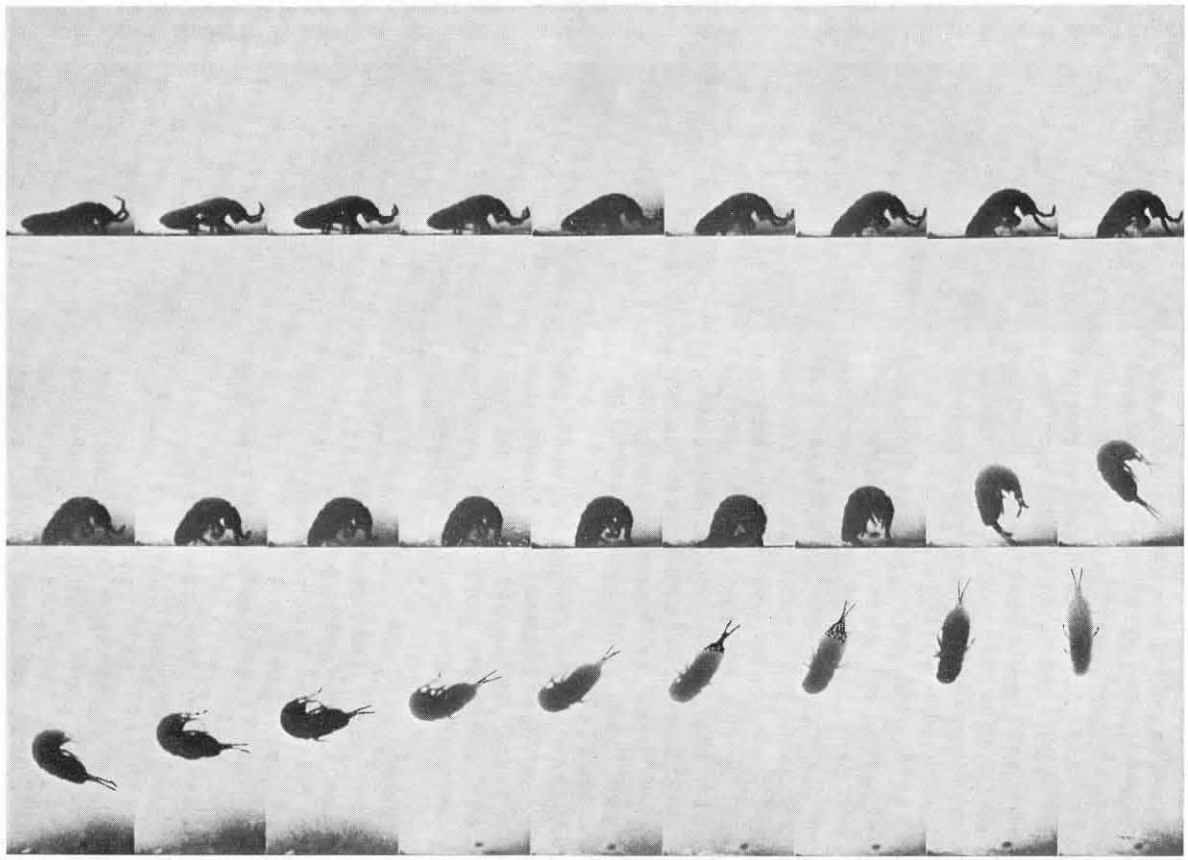

Abb. 3. *Isotoma hiemalis*, Kaderausschnittvergrößerungen. Aufnahmefrequenz 1000 Bs^{-1}, Körperlänge des Tieres ca. 1,6 mm. Der gezeigte Ablauf umfaßt einen Zeitabschnitt von 0,027 Sekunden.

Zur Aufnahmetechnik

Eine gewisse technische Schwierigkeit bedeuteten die geringe Größe der Tiere und die Schnelligkeit ihres Fluchtsprunges. Der Absprung wurde in winzigen Glasküvetten gefilmt. Als Kamera diente die Drehprismenkamera Fastax WF 17m mit 50-mm-Objektiv und Zwischenringen. Der Abbildungsmaßstab betrug 2 : 1, die Aufnahmefrequenz wechselte im Bereich zwischen 750 Bs^{-1} und 1600 Bs^{-1}. Beleuchtet wurde mit einer Funkenblitzlampe (Fischer Nanolite) mit ca. 10 ns Blitzdauer, wodurch die für Collembolen untragbare Strahlungswärme anderer Lichtquellen vermieden wurde.

Die Aufnahme des Fluchtsprunges der Tiere erfolgte in Küvetten mit einer Grundfläche von 2×9 mm und einer Höhe von 20 mm. Zur Auslösung des Sprunges wurde *Heteromurus* mit einem Drahtauslöser angestoßen [1], bei *Lepidocyrtus* und *Isotoma* wurden Ätherdämpfe [Diäthyläther; $(C_2H_5)_2O$] und bei *Hypogastrura* Globoldämpfe (p-Dichlorbenzol; 1,4-$C_6H_4Cl_2$) eingeblasen. Der Funkenblitz beleuchtete eine Mattscheibe hinter der Küvette, so daß die Bewegungsphasen des abspringenden Tieres in scharfer Silhouette abgebildet wurden [1].

Die Aufnahmefrequenz der Kamera war durch die Aufnahmebedingungen begrenzt. Zur Analyse des Fluchtsprunges war sie ausreichend, für die Herstellung der Vorführkopie wurde jeder einzelne Filmkader zusätzlich verdrei- und verneunfacht.

Filmbeschreibung

1. *Heteromurus nitidus* (Templeton, 1835)
Entomobryidae (Entomobryomorpha)
Mechanische Stimulation an den Antennen
Aufnahmefrequenz 750 Bs^{-1}
Zeitdehnung nach Kadervervielfachung 1 : 90 und 1 : 270
Tatsächliche Dauer der Sprungaktion 31 ms
Tatsächliche Körperlänge ca. 2 mm

Als erste erkennbare Reaktion fällt ein konvexes Krümmen der Rückenseite auf. Mit dem Aufsetzen der Furca auf den Küvettenboden beginnt die Rotation des Tieres um seine Querachse und die Translation des Körperschwerpunktes (KSP). Der Rücken wird durchgestreckt und während der ersten Flugphase konkav gekrümmt. Gegen Ende der Einstellung wird die Furca in die Ruhelage zurückgeklappt.

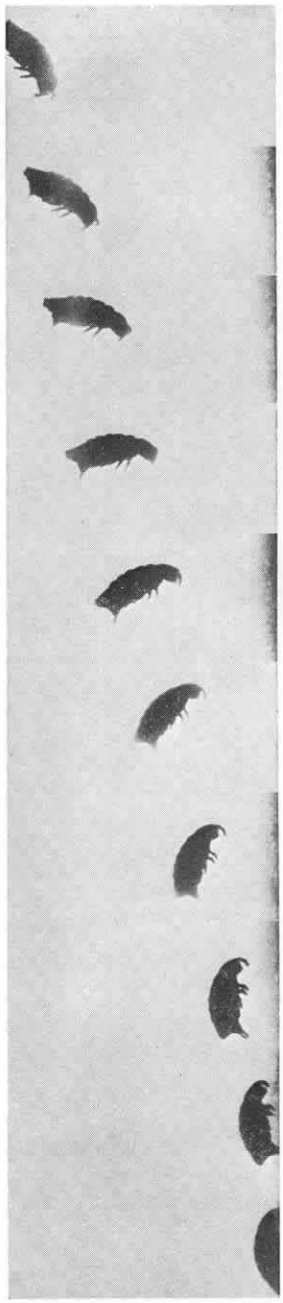

Abb. 4. *Hypogastrura socialis*, Kaderausschnittvergrößerungen. Aufnahmefrequenz 1600 Bs^{-1}, Körperlänge des Tieres ca. 1 mm. Der gezeigte Ablauf umfaßt einen Zeitabschnitt von 0,0063 Sekunden.

2. *Heteromurus nitidus* (Templeton, 1835)
Entomobryidae (Entomobryomorpha)
Mechanische Stimulation an der Abdomenspitze
Aufnahmefrequenz 1200 Bs^{-1}
Zeitdehnung nach Kadervervielfachung 1 : 145 und 1 : 435
Tatsächliche Dauer der Sprungaktion 15 ms
Tatsächliche Körperlänge ca. 1,9 mm

Ein anderer Vertreter dieser Art wird an den Spürhaaren der Abdomenspitze gereizt. Die Bewegungsabfolge ist bei *Heteromurus* sehr einheitlich: Obwohl die Absprungsaktion wesentlich schneller abläuft als bei dem ersten Tier, ist die relative Dauer der einzelnen Phasen unverändert. Die Absprungsgeschwindigkeit von 0,86 ms^{-1} wird nach 4 ms erreicht, woraus sich die mittlere Beschleunigung des KSP zu 215 ms^{-2} errechnet.

3. *Lepidocyrtus paradoxus* Uzel, 1891
Entomobryidae (Entomobryomorpha)
Chemische Stimulation (Äther)
Aufnahmefrequenz 1500 Bs^{-1}
Zeitdehnung nach Kadervervielfachung 1 : 180 und 1 : 540
Tatsächliche Dauer der Sprungaktion 31 ms
Tatsächliche Körperlänge ca. 2,4 mm

Diese stark chitinisierte, epigäische Art zeichnet sich durch einen fast ansatzlosen Sprung aus. Vorbereitende Körperkrümmungen sind kaum festzustellen. Vor dem Aufschlagen der Furca werden die Vorderbeine durchgestreckt, wodurch der Winkel zwischen Körperlängsachse und Unterlage vergrößert wird. Der Kopf wird so stark gegen die ventrale Thoraxseite gedreht, daß das kapuzenförmige Mesonotum die Vorderkontur bildet. *Lepidocyrtus* erreicht mit 1,03 ms^{-1} die höchste Absprungsgeschwindigkeit aller Arthropleona, entsprechend hoch ist auch die mittlere Beschleunigung des KSP (470 ms^{-2}).

4. *Isotoma hiemalis* Schött, 1893
Isotomidae (Entomobryomorpha)
Chemische Stimulation (Äther)
Aufnahmefrequenz 1000 Bs^{-1}
Zeitdehnung nach Kadervervielfachung 1 : 120 und 1 : 360
Tatsächliche Dauer der Sprungaktion 43 ms
Tatsächliche Körperlänge ca. 1,6 mm

Sowohl im Bau des Sprungapparates als auch in der Bewegungsfolge des Absprunges zeigen Entomobryiden und Isotomiden viele Übereinstimmungen. Bemerkenswert ist das überaus starke Einkrümmen des Körpers in der Sprungvorbereitungsphase. Die zusätzliche Drehung um die Körperlängsachse während des Fluges kommt durch Reibung an der Küvettenwand zustande. Mit 0,54 ms^{-1} ist die Absprungsgeschwindigkeit vergleichsweise gering, die Rotationsgeschwindigkeit um die Körperquerachse hingegen erreicht mit 503 rad s^{-1} den höchsten Wert innerhalb der Arthropleona.

5. *Hypogastrura socialis* (Uzel, 1891)
Hypogastruridae (Poduromorpha)
Chemische Stimulation (Globol)
Aufnahmefrequenz 1600 Bs^{-1}
Zeitdehnung nach Kadervervielfachung 1 : 190 und 1 : 570
Tatsächliche Dauer der Sprungaktion 7 ms
Tatsächliche Körperlänge ca. 1 mm

Charakteristisch für diesen Collembolentyp ist die winzige Furca. Der daraus resultierende kurze Beschleunigungsweg wird von *Hypogastrura* durch eine außergewöhnlich hohe Extensionsgeschwindigkeit der Furca kompensiert: Diese wird mit einer Winkelgeschwindigkeit von 3030 rad s^{-1} ausgeklappt, während der entsprechende Wert bei den untersuchten Entomobryomorpha höchstens 1830 rad s^{-1} erreicht. Dadurch erzielen diese kleinen Tiere Sprungweiten bis zu 12 cm. Im Unterschied zu allen anderen gezeigten Arten bedingen die speziellen Hebelverhältnisse bei *Hypogastrura* nach dem Absprung eine Vorwärtsrotation des Tieres.

Literaturverzeichnis

[1] BAUER, Th., und VÖLLENKLE, W. (1976): Hochfrequente Filmaufnahmen als Hilfsmittel bei der Analyse von Angriffs- und Fluchtverhalten in einer Räuber-Beute-Beziehung unter Bodentieren (Collembolenfang visuell jagender Carabiden). Wiss. Film (Wien) 17, 4–11.
[2] BRETFELD, G. (1963): Zur Anatomie und Embryologie der Rumpfmuskulatur und der abdominalen Anhänge der Collembolen. Zool. Jb. Anat. 80, 309–384.
[3] CHRISTIAN, E. (1978): The Jump of the Springtails. Naturwissenschaften 65, 495.
[4] CHRISTIAN, E. (i. V.): Der Sprung der Collembolen (Hexapoda, Apterygota). Zool. Jb.
[5] EISENBEIS, G. (1978): Die Thorakal- und Abdominalmuskulatur von Arten der Springschwanzgattung Tomocerus (Collembola: Tomoceridae). Ent. Germ. 4, 55–83.
[6] MANTON, S. M. (1972): The evolution of arthropodan locomotory mechanisms. Part 10. Locomotory habits, morphology, and evolution of the hexapod classes. Zool. J. Linn. Soc., 203–400.
[7] PISTOR, D. (1955): Die Sprungmuskulatur der Collembolen. Zool. Jb. Syst. 83, 511–540.
[8] SCHALLER, F. (1969): Zur Frage des Formensehens bei Collembolen. Zool. Anz. Suppl. 32, 368–375.
[9] SCHALLER, F. (1970): Collembola (Springschwänze). Handb. Zool. 4 (2) 2/1, 1–72.

Anschrift der Verfasser
Dr. Erhard Christian, 1. Zoologisches Institut der Universität Wien, Dr.-Karl-Lueger-Ring 1, 1010 Wien.
Dr. Walter Völlenkle, Bundesstaatliche Hauptstelle für Wissenschaftliche Kinematographie, Schönbrunner Straße 56, 1050 Wien.